

# 大河口电站机组选型中的几个问题

刘德印

(四川省水利水电勘测设计研究院,成都,610072)

**摘要** 本文以大河口电站为实例,针对过机含沙量对水轮机的影响,讨论了机组选型和确定转轮直径等问题。

**关键词** 机型选择 转轮直径 悬移质泥沙含量

## 1 泥沙特性

大河口电站位于四川省黔江地区酉阳县境内,新建大河口乡的阿蓬江大滩河段上。电站为坝内式,坝高85m,坝型是空腹重力坝,机组自闸墩取水,电站装机 $3 \times 2.3$ 万kW。

由于本电站汛期河流悬移质含沙量较大,悬移质粒径在0.25mm以下的占99.5%,这些泥沙极易挟带过机。据国内径流式和引水式电站的统计资料表明,过机年平均含沙量一般可达天然河流年平均含沙量的10%~60%。多泥沙河流对水轮机过流部件的危害是众所周知的,泥沙含量过大的水流对通流部件的磨损将造成水轮机出力的大幅度下降,使检修周期缩短,增加机组维修费用、延长检修时间。大河口电站所在河流多年含沙量为 $0.689\text{kg}/\text{m}^3$ ,实测最大含沙量为 $15.6\text{kg}/\text{m}^3$ 。

电站悬移质泥沙含量如下:

多年平均含沙量	$0.698\text{kg}/\text{m}^3$
实测最大含沙量	$15.6\text{kg}/\text{m}^3$
汛期平均含沙量	$0.847\text{kg}/\text{m}^3$
年平均输沙量	298.320万t

悬移质泥沙矿物成分为粘土、石英、云母、褐铁矿等,其中石英硬度为7级。悬移质泥沙粒径级配见表1

表1 悬移质泥沙粒径级配表

d(mm)	0.007	0.01	0.025	0.05	0.1	0.25	0.5	1	$d_{pj}$	$d_{50}$
P(%)	41	50	70	85	98.1	99.5	99.8	100	0.022	0.01

## 2 水轮机机型选择

### 2.1 用比转速法选择水轮机型式

本电站装机容量不大,机型选择主要立足于已试验成功的模型转轮。近年来东方电机厂和哈尔滨大电机研究所分别研制了使用在100m水头段的新型转轮。这些转轮的性能指标达到国内先进水平,有些已接近国外先进水平。

适合本电站的转轮有哈尔滨大电机研究所研制的A346-35、A286-35、A296-35、A551-35、A208-35、A125-25、A184-25型转轮及东方电机厂研制的D74-35、D75-35型模型转轮。

表2是东电、哈电研制的100m水头段的部分模型转轮性能参数表。

目前国内中比速混流式水轮机模型转轮最高效率已经稳定在92%左右。按大河口电站设计水头 $H_s = 54.3\text{m}$ 计,如果使用D74-35或D75-35转轮,那么比速系数 $K = 1916$ ,接近世界水平的下限(目前国外混流式水轮机制造水平的下限值为 $K = 2000$ )。K值综合反映了水轮机的能量指标,即在一定条件下,比转速的高低反映了水轮机过流

能力的大小、效率和转速的高低。

D74-35 和 D75-35 模型转轮叶道断面相对较大,单位流量较大,相对的效率也高,转

轮出口直径相对较大,叶道出口相对流速较小,这对防止和减轻气蚀磨损是有利的。

表 2

型 号		D74-35	D75-35	A286-35	A208-35	A125-25	A126-25	A184-25
最大使用水头 $H_{\max}$		100	100	100	75	100	100	100
叶片数 $Z_1$		14	13	13	13	14	14	14
导叶相对高度 $b_0/D_1$		0.28	0.28	0.315	0.315	0.25	0.25	0.28
最优 工况	$n'_{10}$	79	79	77.5	79	73	71	75.2
	$Q'_{10}$	1080	1091	1005	1060	920	1070	1040
	$\eta_{MO}$ (%)	92.7	92.5	92.7	92	90	89.9	90
限制 工况	$Q'_1$	1247	1232	1185	1220	1075	1255	1220
	$\eta_M$ (%)	89.4	90.2	88.0	88.3	87	86.9	85.9
	$\sigma_M$	0.143	0.152	0.13	0.15			
单位飞逸转速 $n'_{1f}$		150.4	150.8	142.5	152	140.8	138.2	144.1
比转速 $n_s$		261.0	261.0		256	221	232	241

水轮机的磨损程度与水轮机过流部件的相对流速的 2.5~3 次方成正比。选择水轮机时适当地降低水轮机的比转速是减轻泥沙磨损的措施之一,因此本电站不能要求水轮机有过高的能量指标。

## 2.2 D74-35、D75-35 两模型转轮比较

从 D74-35、D75-35 两模型转轮的综合特性曲线来看,D75-35 模型转轮的气蚀系数普遍要比 D74-35 模型转轮要大。在高单位转速区,特别是大流量区,D74-35 模型转轮比 D75-35 的小;而在小流量区都比 D75-35 转轮的大。在低单位转速区 D74-35 转轮普遍比 D75-35 模型转轮的气蚀系数大。电站枯期流量小,下游水位低,因此要求水轮机在高水头低负荷区运行时仍有较好的气蚀性能。

D74-35 和 D75-35 两模型转轮在大河口电站运行特性比较可以看出:设计水头和加权平均水头运行时运行参数非常接近,且加权平均水头均在最高效率区内运行。在最高水头  $H_{\max} = 63.45\text{m}$  运行时,两机型有较大的区别,D75-35 型转轮较 D74-35 转轮有较大的优势。首先效率较 D74-35 高,过流量也较 D74-35 型转轮大,更重要的是吸出高度

的允许值有较大的差别。D74-35 型转轮在 63.45m 水头运行时允许吸出高度值为 -4.06m,而 D75-35 型转轮在这一水头运转条件下允许吸出高度值为 -1.727m。

D74-35 型转轮恰恰在最高水头运行时是安装高程的受控点,而 D75-35 型转轮在设计水头运行时是安装高程的受控点。

本电站在地方电力网中所占容量比重较大,且担负调峰、调频和事故备用,因此要求水轮机在任何工况下有较高的稳定性。

根据东电对 D74-35 和 D75-35 两模型转轮的运行稳定性研究成果看:D75-35 模型转轮的压力脉动双幅振动值不大;D74-35 模型转轮在大多数工况点的压力脉动值均较小,压力脉动值大的工况点出现在高单位转速小流量区,即出现在低水头部分负荷区,但压力脉动的绝对值均不大。根据国外 AC、多米宁及日本一些公司的资料,压力脉动双幅相对振动值  $\bar{A}$  通常控制在 7%~10% 的范围内 ( $\bar{A} = \Delta H/H \times 100\%$ ),而不论 D74-35、D75-35 转轮用在大河口电站的条件下,其运行范围内的双幅振动值  $\bar{A}$  均不超过 7%。

## 2.3 过机泥沙含量对水轮机直径的影响

本电站坝址河床狭窄,河谷呈“V”字形,

洪水流量大,因而水位变幅大。汛期流量大,下游水位升高,水头降低,当水头降低时则要求水轮机有较大的过流能力。采用较大一级的水轮机直径减少水轮机的出力受阻,更重要的是降低了水流的过机流速,减轻了泥沙对水轮机过流部件的磨损。

在机组选型时注意到选择单位转速  $n'_1$  值相对较高的机型。而机型确定以后,转轮的进口直径  $D_1$  和转轮的出口直径  $D_2$  的比值就已确定。而影响导水机构磨损的主要原因是导叶区的绝对速度  $V_1$ ,影响转轮磨损的主要因素是转轮出口的相对速度  $W_2$ ;而要减轻泥沙对导水机构和转轮磨损的程度,只有降低  $V_1$  和  $W_2$  值。当水头,水轮机的额定出力已定,解决办法是加大水轮机  $D_1$  值。

大河口电站在初设阶段,水轮机转轮直径  $D_1$  确定为 2.35m。单位流量  $Q'_1$  值选在模型综合特性曲线上与相应于最优单位转速  $n'_1$  值线与 5% 出力限制线的交点上。

优化设计阶段,考虑到大河口过机含沙量较大,为减少泥沙磨损,降低水轮机过机流速,对水轮机的直径  $D_1$  进行了重新选定。并将  $D_1$  确认为 2.4 m,将单位流量值选在相应于最优单位转速  $n'_1$  线介于乎于 5% 出力限制线交点与最高效率点的中间位置上。一方面使水轮机设计工况点处在较高效率范围内,又使水轮机在加权平均水头运行时的效率处在最高效率圈范围内,而又不致于在最高水头运行时过多的偏离高效率区。选用大一级的水轮机直径,实际上是加大了活动导叶的节圆直径,相应地降低了  $V_1$  和  $W_2$  值、减轻了泥沙对水轮机过流部件的磨损。转轮直径的变化对水轮机的造价相差甚小,从厂家的报价来看只相差 20 多万元。因转轮直径的加大,电站在丰水期争取多发电,避免了因丰水期下游水位升高,水头降低,电站一方面弃水而机组又因水头低,转轮直径小,出力受阻而不能满出力的状况。转轮直径加大一级,增加了出力储备,又不致于因泥沙造成的磨损

使水轮机效率降低及出力不足的现象发生,提高了机组出力保证率。表 3 是 D75-35 机型采用不同转轮直径的运行特征比较表。

表 3  $D_1=2.35$ 、 $D_1=2.40$  运转特性比较表

机 型	HLD75-LJ-235	HLD75-LJ-240
转轮直径 $D_1$ (m)	2.35	2.40
额定转速 $n$ (r/min)	250	250
单位转速范围 $n'_1$ (r/min)	73.75~88.81	75.32~90.70
设计点单位转速 $n'_1$ (r/min)	79.30	81.40
设计点单位流量 $Q'_1$ (l/s)	1.204	1.14
设计点模型效率 $\eta_m$ (%)	0.908	0.921
水轮机额定出力 $N$ (kW)	23711	23711
汽蚀系数 $\sigma$	0.153	0.142
吸出高度 $H_s$ (m)	-1.87	-1.15
比转速 $n_s$		261
比速系数 $K$		1923

### 3 结 语

遵照省级主管部门对大河口电站的审批意见和建议。电站在招标设计阶段确定总装机容量为 6.9 万 kW,装机 3 台。并根据审查意见对电站所在河流悬移质含沙量对水轮机过流部件的影响给予了充分考虑。从机型选择到加大一级转轮直径  $D_1$  值;对水轮机过流部件的材质也进行了精心选择,其中使用 Z60Cr13Ni4MO 不锈钢制造水涡轮的各部分;活动导叶的主面端部、密封面铺焊不锈钢、底环为整铸,盖帽结构。该结构可减少泥沙直接进入转轮下环,导叶区过流部分铺焊有 6mmOCr13Ni5MO 抗磨板,增加水轮机主要过流部件的耐磨性。为了避免泥沙和气蚀的共同作用加快水轮机的磨蚀,对水轮机的吸出高度值的计算做了深入细致的研究和分析,最终确定  $\Delta H_s = -3.27$ m。相应水轮机安装高程为 318.30m。

正是因为加大了一级水涡轮直径  $D_1$  值,因而电站的水轮机有较大的能量储备。从阿

蓬江河流悬移质泥沙含量的资料分析:枯水期河流含沙量很小,河水清澈,电站出现较大水头;汛期泥沙含量较大的时间也只集中在雨后的几天。此时电站充分利用坝顶弧门的调节能力,避开河流含沙量较大的数天。充分挖掘电站设备潜力,加强电站运行管理,合理调度水库的调节能力,开大导叶使单位流量 $Q'_1$ 值到相应水头的单位转速值 $n'_1$ 线与5%出力限制线相交处,机组出力可达发电机设计出力2.5万kW。水轮机生产厂家为使发电机容量按厂标标准容量设计制造,将大河口水电站的水轮发电机按29411kVA设计制造,相应的功率因数为0.85,铭牌出力为2.3万kW。其运转特性如表4所示。

表4

水头 $H$ (m)	流量 $Q$ ( $m^3/s$ )	水轮机效率 $\eta$ (%)	出力 $N$ (kW)
63.45	44.96	0.930	25000
57.84	49.00	0.920	25000
54.87	51.71	0.923	25000
43.76	44.96	0.921	17296

注:1. 本文不讨论水轮机额定水头如何确定的问题。2. 水轮机效率按 $\Delta\eta=0.016$ 修正,发电机额定工况时效率 $\eta_g=0.973$ 。

水轮发电机基本技术数据:

水轮机

机型	HLD75-LJ-240
转轮直径	2.4m
额定转速	250r/min
额定水头	54.3m
额定流量	48.3 $m^3/s$
吸出高度	-3.27m
安装高程	318.3m

发电机

型号	SF23-24/5500
额定容量	27059kVA
额定转速	250r/min
额定功率因数	0.85(滞后)

(收稿日期:19950124)

(上接第56页)

TBSA 三维空间结构程序上多次运行,又经笔者手算复核,证明纵向荷载完全可以由纵横双向的框架承担;而剪力墙的设置,又将沉降和震动影响的危害控制在最小程度。电站

建成之后,汹涌澎湃的巨大水流将从副厂房下的溢流闸孔奔腾下泄,从远处看,犹如5条银色巨龙托起一座金碧辉煌的宫殿,其气势之宏伟、景观之壮丽必将令人叹为观止。

(收稿日期:19941231)

\*\*\*\*\*

(上接第72页)

## Theory and Practice of Unlined Hydraulic Tunnel with Large Section

Zhou Wuping

(Sichuan Hydroelectric Investigation and Design Research Institute)

**Abstract** Optimizing process of design and optimized design of diversion tunnel at Dahekou project are introduced in this paper. Discharging capacity and roughness of the tunnel during operation are analyzed.

**Key Words** diversion tunnel optimizing process of design discharging capacity roughness